

Válasz
Dr. Zólogy Imre a műszaki tudomány doktora
Földesy Péter “Integrált érzékelés és jelfeldolgozás a fókusz síkban” című MTA
doktori disszertációjához készített bírálatára

Mindenekelőtt szeretném köszönetemet kifejezni Dr. Zólogy Imre Professzor Úrnak, hogy elvállalta dolgozatom bírálatát, és a disszertációhoz érdemi kérdéseket és megjegyzéseket fűzött. Hálás vagyok, amiért mindkét kutatási témát és az elért eredményeket értékesnek és teljes kutatómunkának tekintette.

A bíráló kritikus véleményt fogalmazott meg a disszertáció kivitelével kapcsolatban. Sajnálom, hogy az érthetőség és olvashatóság rovására próbáltam az előírt 100 oldalas korlátot betartani, számomra is nehézséget jelentett ezen a határon belül maradni. Tisztában vagyok a fogalmazási képességeim hiányosságaival, ezért számos barátom, kollégám, családtag segítségét kértem, hogy olvashatóvá tegyem a disszertációt. Ennek ellenére is valóban maradt számos stilisztikai és elírási hiányosság.

A következőkben szeretném a bírálat kérdéseit, megjegyzéseit azzal azonos sorrendben megválaszolni.

- *“Az 5. ábrával kapcsolatban hiányoltam a sebesség megbecsülését a processzoronkénti érzékelő szám függvényében. Ezt nyilván nehezebb megbecsülni, mint az ábrán található mennyiségeket.”*

A processzoronkénti érzékelő szám növelése drasztikusan csökkenti az összes processzor számát, ezzel együtt a teljes rendszer képméretét is. A processzorok sebességét ebben a szétosztott rendszerben alapvetően a vezérlés (pl. mikrokód) jelvezetési késleltetése határozza meg. A minimális helyre való törekvéssel a processzorok nem önálló egységek voltak, nem rendelkeztek saját program tárhellyel. Ezért a kapcsolóállások és egyéb kontroll jelek továbbítása a processzorok számára jelenti az igazi sebességkorlátot. Az 5. Ábra okfejtésében rögzítettem a befoglaló méretet és azonos technológiát feltételeztem, ezért a jel továbbítás távolsága (így sebessége) is első közelítésben azonos volt az érzékelő szám függvényében.

- *“A 6. ábra feletti felsorolásból kimaradtak az újraprogramozható logikai egységek (az ábrán láthatók).”*

Ezek a legelterjedtebben megvalósított feldolgozási elemek, tekintettel egyszerűségükre, hiányoznak a felsorolásból.

- *“A 3D integrált foveális megvalósítás ismertetésénél megemlíti, hogy nemzetközi projekt keretében készült. Az előző kettő nem abban?”*

A felsorolt korábbi 2D áramkörök fejlesztése kizárólag a saját csoportunkban történtek, változó támogatási forrás mellett. A 3D foveális megvalósításban a rétegek (szenzor, analóg tömb, 3D integráció) megtervezése azonban más külföldi kutatócsoportok feladata volt, én a processzortömb rétegért voltam felelős.

- *“30. o. A VII. táblázatában megadott képletek és adatok alapján a második oszlop legfelső adata 32k hibás, az oszlop többi adata helyes. Viszont a harmadik oszlop adatai is hibásak, ha 100 MHz az órajel frekvenciája (periódusidő 0,01 us)”*

A VII. táblázat valóban nem kellően indokolt. A megadott lépésszám elméleti érték az adott funkció végrehajtásához szükséges jellemző algoritmus lépéseinek összege. Az óraciklus és időtartam azonban a megvalósítás konkrét szimulációs eredménye. Az eltéréseket a processzor időzítése, pipeline csúszások, ciklusszervezés, a különböző műveletek más jellegű megvalósítása okozta.

- *“32. o. 23. ábra aláírásában hiányzik az alany. A 24. ábrán bináris shutter, az ábra alatti szövegben elektronikus shutter szerepel.”*

Elírás oka a bináris funkció és annak elektromos (elektronikus) keverése volt.

-
- 33. o. Az (1) képletben köszönöm az elírás helyesbítését beépített potenciálra.

- *“Mit jelent a lap alján a p-adalékú zseb blokkolása?”*

A twin-well technológiában a szubsztrát gyengén adalékolt, mind a p- és n-zsebeket külön adalékolva hozzák létre, ellentétben a hagyományos CMOS technológiákkal, ahol csak az n-zsebek képződnek így. A p-zseb adalékolását egy maszkréteg megadásával ki lehet zárni helyileg, így a szubsztrát gyengébben adalékolt tömbjével lehet dolgozni.

- *“35. o. A (3) képlet kitevőjében +0,3 V írandó. Alatta a m_{p}/m_{n} arányra az 1/2,5 igaz.”*

Valóban, így adódik a képlet szerinti nagy loff arány is.

- *“36. o. A második bekezdés 3. mondatából hiányzik az állítmány.”*

A mondat helyesen: “A FPN jellemzően a kiinduláshoz köthető reset feszültség szint ingadozásához, shutter tranzisztor kapcsolási órajel áthallásához

(clock feedthrough), oszloponkénti kiolvasási kapcsolók szórásához, és egyéb jelerősítő elemek függvénye.”

- “38. o. A IX. táblázatához megjegyzés: Ha az integráló kapacitás csak 30 fF volt, nem okoztak problémát (u.n. soft error-t) az alfa részecskék?”
Az iteratív képfeldolgozás számos temporális zajcsúcsot elfedhetett, ettől függetlenül soft-error jelenségeket nem tapasztaltam.
- “39. és 40. o. A 32. ábrán az látható, hogy a felület kihasználás hatékonysága bit-soros megvalósítás esetén kb. kétszer nagyobb volt, mint byte-os megvalósítás esetén. Ugyanakkor a X. táblázat azt mutatja, hogy mindkét megvalósításnál a szilícium lapka mérete azonos volt.”
A szilícium lapka mérete gyártási adottság volt, az adatok konkrét áramkörökre vonatkoznak. A felület kihasználtsága a bit-soros esetben azért lehet nagyobb, mert a feladat elvégzéséhez tartozó felület a bit-soros processzorokban kisebb.
- “43. o. Mi a vezető élettartam?”
Valóban a töltéshordozó élettartam a helyes kifejezés, köszönöm. Az elektronplazma és elektrongáz elnevezésekben nem voltam következetes. Az elektrongáz a megfelelőbb kifejezés, ennek ellenére a vonatkozó szakirodalomban a “2D electron plasma” is elterjedt, a helyes 2DEG (2D elektron gáz) mellett.
- “47. o. 36. ábra betétje: Az intenzitás hogyan lehet negatív?”
Pongyolaság volt, a helyes kifejezés elektromos térerő.
- “48. o. 37. ábra. Mi a függőleges tengely dimenziója?”
Az elrendezések által mérhető jelenség a terhelőellenálláson eső feszültség, ezért volt kellene hogy legyen. A tengely értéktartományát pedig a jobb összehasonlíthatóság kedvéért normáltam.
- “55. o. A 45. ábrán nem a feszültségválasz, hanem annak reciprok értéke látható.”
- A feszültségválasz reciprok értéke adta vissza az kis értékeken követett viselkedést, az ábraaláírásban kellett volna ezt jelezniem.
- “56. o. Mi a 46 ábrán a béta jelentése? Az ábrán dimenzió problémák vannak.”
A 46. Ábra az EPFL-EKV model értelmező ábrája, mely a töltéssűrűséget (8. képlet, 55. oldal) illusztrálja a csatorna hossza mentén. A béta vezetőképesség dimenziójú tényező (transconductance factor), függ a tranzistor méreteitől,

elektron/lyuk mobilitástól. Az ábra sötétített területeivel arra mutattam rá az ábra kiegészítéseként (nem része az eredeti ábrának), hogy a forrás és nyelőhöz közeli tartományok felelősek a feszültségválaszért, azonban más töltéssűrűség és gm transzkonduktancia mellett ha a V_s nem egyenlő a V_d -vel. A vízszintes tengely elsősorban a csatorna keresztmetszeti töltéssűrűségét adja vissza, mely egybeesik az ábrázolt feszültségértékekkel.

- *“57. o. A (13) egyenletben VBS helyett valószínűleg VGB a helyes, amint az a (14) egyenletben is látható.”*

Köszönöm az észrevételt, igen. A fejezet a kapu-hordozó (VGB, gate-bulk) feszültségének hatását vizsgálja a feszültségválaszra. Az adott feltételeknél, a tranzistor kapuja, forrása és nyelője között nem változik a feszültség, csupán a hordozó feszültségét változtatva kapjuk az összefüggést, így a képlet nem következetes, de véletlenül helytálló volt.

- *“58. o. A "rövid csatorna" helyett "hosszú csatorna" írandó”*

Az elnevezéseim félrevezetőek a csatornák tekintetében, és köszönöm a korrekciót. Az L csatorna hossz valóban “hosszú”, ha hagyományos értelemben nem kell törődnünk a csatornarövidülés hatásaival. A témakör máshogy közelíti meg a kérdést, amit nem hangsúlyoztam: egy adott hosszúságú csatorna esetén az RF jel frekvenciájának növekedésével csökken annak behatolási mélysége a csatornába, míg kisebb nem lesz a csatorna hosszánál. Ekkor a behatolási mélységhez képest nevezi a téma szakirodaloma a csatornát “hosszú”-nak.

- 59. o. ps valóban felületegységre eső inverziós töltés (pl. $1/\text{cm}^2$ dimenzióban).

- *“60. o. 47. ábránál a jobb és baloldal fel van cserélve. A 48. ábra baloldalán a függőleges tengelyen plazma hullám olvasható, az ábraalírásban pedig elektronsűrűség”*

60. o. 47. ábránál felcseréltem a jobb és baloldalt, a leírás szerinti bal, jobb oldal a helyes sorrend. A tengelyfelirat helyesebben “a elektronsűrűség egy adott időpillanatban” címként szerepelhetett volna.

- *“64. o. Alulról a második sorban a csatornahossz és csatornaszélesség szavak fel lettek cserélve. Utána; ha $L = 200 \text{ nm}$ és $l_{\text{eff}} = 241 \text{ nm}$, hogyan valósul meg a hosszú csatorna feltételezés?”*

A kísérletben nem állt rendelkezésre a vizsgált tranzisztorról részletes anyagi és eszköz paraméter, így a mobilitás sem. Ezért az L_{eff} egy közelítő becslés. A rövid csatornából fakadó jelenségeket (pl. frekvenciafüggő rezonancia) a frekvenciatartománybeli vizsgálat során nem tapasztaltam. A mérések

visszaadták a modell előrejelzését, ezért valószínűleg a rövid/hosszú csatorna ad-hoc definíciójának határán lévő eszköz inkább a hosszú csatornára jellemző viselkedését mutatta.

- *“66. o. Voltak-e mérések 2 kHz-nél magasabb modulációs frekvenciákon? Mekkora lehet a modulációs határfrekvencia?”*

Köszönöm a nagyon fontos kérdést. A konkrét esetben nem, általánosságban sokat foglalkoztatott ez a kérdés szilícium mintáknál. A modulációs frekvencia növelésekor a letörési határt az eszköz csatorna ellenállása és a mérőrendszer kapacitása együttesen határozta meg. A lezáródó csatorna növekvő ellenállása (csökkenő vezetőképessége) segít a jelenség megfigyelhetőségében (responsivity), azonban ez együtt jár a csökkenő modulációs határfrekvenciával. A gyakorlatban ez MHz tartományú felső korlátot jelent, jel-zaj viszonyt optimalizálva pedig a kHz tartomány. Ez a korlát az, ami miatt a technológia nem alkalmas kommunikációs célokra.

- *“83. o. Az oldal tetején újabb utalás van a nem létező 0. fejezetre.”*

A több detektor összekapcsolásával kapcsolatos a mondat, mely témát az “eltűnt” fejezet a “3.7 Jel-zaj viszony javítása többszörös antenna csatolt detektorral” foglal magába.

- *“84. o. 71. ábra ábraalírásának első sorában gondolom interferogram lenne a helyes szó.”*

Igen, ez a helyes.

- *“88. o. Alul elírás van. A detektorok feszültségválaszai nem korrelálatlanok, hanem korreláltak, hiszen akkor lehet azokat egyszerűen összeadni. A fehér zajok viszont korrelálatlanok. ezért lehet csak a teljesítményeiket összeadni, ahogy az helyesen olvasható a 89. o. tetején. “*

Pongyola volt a megfogalmazás, a teljesítményük korrelált, ez az optikai közelségből fakad. RF szempontból nem pillanatnyi teljesítményt mérnek, ezért az egyenirányított jel fázisa érdektelen pontról pontra, erre próbáltam utalni a mondatban.

- *“89. o. Ha a modulációs határfrekvencia számításánál az összeköttetések szórt kapacitásait is figyelembe vesszük [...] a kimenőjel gyorsabb csökkenését eredményezné.”*

Köszönöm az kiegészítést. Valóban nem vettem figyelembe az jelutak csillapítását.

Végezetül, megköszönve Professzor Úr támogató véleményét, kérem a bírálatra adott válaszaim elfogadását.

Dunakeszi, 2018. Július 18.

Tisztelettel:
Dr. Földesy Péter